

# ΠΡΟΣΕΓΓΙΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΤΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΪΣΤΟΡΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ ΜΕ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Χατζηνικολάου Ευγενία (\*), Χατζηχρήστος Θωμάς

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού

Τηλ. 210-7722746, e-mail: [gina@central.ntua.gr](mailto:gina@central.ntua.gr)

**Λέξεις κλειδιά:** Πρόβλεψη, Αρχαιολογία, Προϊστορία, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Λογική της Ασάφειας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία σύγκριση δύο μεθοδολογιών προσδιορισμού περιοχών που θα μπορούσαν να αποτελούν προϊστορικές θέσεις. Η βάση ανάπτυξης του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου είναι ότι η επιλογή των προϊστορικών θέσεων δεν ήταν τυχαία αλλά ακολουθούσε κάποιο παράδειγμα λογικών αποφάσεων βασισμένων σε περιβαλλοντικά στοιχεία και κοινωνικές δομές.

Η ανάλυση που ακολουθεί βασίζεται στην τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και σε ποσοτικές μεθόδους, συγκεκριμένα στην Λογική της Ασάφειας και στην μέθοδο της αλληλεπίθεσης η οποία ακολουθεί την Δυαδική Λογική (Λογική Bool). Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο εφαρμόζεται στην προϊστορική Μήλο, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και συγκρίνονται.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρόβλεψη θέσεων αρχαιολογικού ενδιαφέροντος με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών έχει τις ρίζες της στην δεκαετία του 1970. Ξεκίνησε στην Αμερική, και εξελίχτηκε σαν απαραίτητο εργαλείο της διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς με ευρεία χρήση σε κρατικές υπηρεσίες και ιδρύματα. Η βασική αρχή πάνω στην οποία στηρίχτηκε ο νέος αυτός κλάδος έρευνας είναι ότι η επιλογή θέσεων κατοίκησης κατά την αρχαιότητα ήταν συνάρτηση περιβαλλοντικών και γεωγραφικών παραγόντων, διαφορετικών ανάλογα με την περιοχή και την περίοδο. Οι αποστάσεις από πλουτοπαραγωγικές πηγές, από νερό, η ορατότητα, η πρόσβαση από στεριά και από θάλασσα, η φυσική προστασία είναι παράγοντες που έπαιζαν καθοριστικό ρόλο στην επιλογή μιας θέσης. Με την προσέγγιση του επαναλαμβανόμενου προτύπου, ενός παραδείγματος, σύμφωνα με το οποίο καθοριζόταν μία θέση, περιοχές με παρόμοια γεωγραφικά χαρακτηριστικά την ίδια χρονική περίοδο ίσως να αποτελούσαν επίσης αρχαιολογικές θέσεις.

Στην χώρα μας, όπου τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών βρίσκουν ολοένα και περισσότερες εφαρμογές, ο τομέας της αρχαιολογικής πρόβλεψης παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω του αξιοσημείωτου αρχαιολογικού μας πλούτου. Η αρχαιολογική έρευνα η οποία αναγκαστικά από τη φύση της προσεγγίζει μικρής έκτασης περιοχές και προχωράει με αργούς ρυθμούς – μία ανασκαφή κρατάει χρόνια – δεν μπορεί να ισοσταθμίσει τους έντονους ρυθμούς οικιστικής ανάπτυξης η οποία

πολλές φορές μπορεί να καταστρέψει περιοχές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Επίσης, οι προϊστορικές θέσεις τις περισσότερες φορές δεν είναι διακριτές με το μάτι αφού στη πλειονότητά τους έχουν καταστραφεί ή θαφτεί.

Η εφαρμογή μεθοδολογιών ικανών να καθορίσουν άμεσα, γρήγορα και αξιόπιστα περιοχές οι οποίες πιθανώς να αποτελούσαν θέσεις κατοίκησης κατά την αρχαιότητα θα ήταν ένα εργαλείο δύναμης στα χέρια κάθε υπηρεσίας αναπτυξιακού σχεδιασμού.

Μέχρι σήμερα πολλά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί (Wescott and Brandon, (eds), 2000), επιχειρώντας να ταξινομήσουν γεωγραφικές περιοχές σαν «θέσεις» και «όχι θέσεις», θεσπίζοντας τον διεθνή όρο των «μοντέλων πρόβλεψης» τα οποία είναι «...εργαλεία προβολής γνωστών προτύπων ή σχέσεων σε άγνωστους χρόνους ή τόπους» (Warren, 1990). Τα μοντέλα πρόβλεψης χρησιμοποιούν μία δειγματοληπτική περιοχή «θέσεων» και «όχι θέσεων» και κάποιες περιβαλλοντικές μεταβλητές που κρίνονται καθοριστικές για το εκάστοτε πρόβλημα, και μέσω της εξίσωσης υπολογιστικής παλλινδρόμησης (logistic regression) προβλέπουν πιθανότητες ύπαρξης θέσεων σε μη ερευνημένες περιοχές. Η μέθοδος αυτή θεσπίστηκε από τον Kenneth L. Kvamme ο οποίος κατασκεύασε πολλά μοντέλα για το δυτικό και νοτιοδυτικό Κολοράντο και τον οποίο ακολούθησαν πολλοί άλλοι. (Allen K.M.S. *et al.* (eds.), 1990; Lock and Stancic (eds.), 1995).

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται μία έντονη προσπάθεια ανάπτυξης και άλλων μεθόδων και τεχνικών που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στον κατ'εκτίμηση προσδιορισμό αρχαιολογικών θέσεων: Η χρήση πολυκριτηρίων (Krist) , η επιβλεπόμενη ταξινόμηση με νευρωνικά δίκτυα ( Druhot,1993), η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με νευρωνικά δίκτυα ( Ducke, 2003) αλλά και η λογική της ασάφειας (Hatzinikolaou *et al.*, 2003) ανοίγουν νέους δρόμους στον τομέα αυτό.

Στην εργασία αυτή επιχειρείται μία σύγκριση δύο ποσοτικών μεθοδολογιών οι οποίες σαν κοινό έχουν ότι δεν χρειάζονται δειγματοληψία «θέσεων» και «όχι θέσεων»: Του συνδυασμού Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και Λογικής της Ασάφειας και της Δυαδικής Λογικής μέσω απλών πράξεων των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

## **2. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούν την βάση οποιασδήποτε μεθοδολογίας πρόβλεψης αρχαιολογικών θέσεων. Η ικανότητά τους να διαχειρίζονται πληροφορία μεγάλου όγκου και να την μετατρέπουν σε αξιοποιήσιμα στοιχεία είναι το πλεονέκτημα που έλλειπε τόσα χρόνια από την κλασσική αρχαιολογική έρευνα που περιοριζόταν σε αναλογικούς τρόπους προκειμένου να καταλήξει σε συμπεράσματα περιορισμένης εμβέλειας.

Η επιλογή των επιπέδων πληροφορίας που είναι κατάλληλα για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων πρόβλεψης είναι ένα κρίσιμο σημείο στην μεθοδολογία. Απαιτείται καλή γνώση της αρχαιολογίας του χώρου και της συγκεκριμένης περιόδου που εξετάζεται.

Ο πρώτος τρόπος προσέγγισης, που είναι και αρκετά πιο σύνθετος, είναι χρησιμοποιώντας Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για την επεξεργασία των δεδομένων και Λογική της Ασάφειας για την πρόβλεψη .

Ο δεύτερος τρόπος, είναι χρησιμοποιώντας Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για επεξεργασία των δεδομένων και Δυαδική Λογική για την πρόβλεψη μέσω των εργαλείων ανάλυσης των Γ.Π.Σ.

## 2.1 Η Λογική της Ασάφειας

Η Λογική της Ασάφειας, ως επιστήμη και ως μέθοδος προσεγγίζει με αληθοφάνεια τις συνθήκες του πραγματικού κόσμου. Η εφαρμογή της στην πρόβλεψη προϊστορικών θέσεων αποτελεί μία καινούργια προσέγγιση του προβλήματος.

Στην Δυαδική Λογική (Boolean logic) ένα δεδομένο στοιχείο είναι είτε αληθές είτε ψευδές ή ένα αντικείμενο ανήκει σε ένα σύνολο ή δεν ανήκει. Αντίθετα, η αρχή της ασαφούς λογικής επιτρέπει τη συλλογιστική της «απόχρωσης». Μπορεί κάτι εκτός από αληθινό ή ψευδές, να είναι σχεδόν αληθινό (Kosko 1993). Σε αντίθεση με τα δυαδικά σύνολα, ένα ασαφές σύνολο δεν έχει αυστηρά καθορισμένα όρια. Η δομή ενός ασαφούς συνόλου επιτρέπει ένα φυσικό τρόπο επεξεργασίας δεδομένων σε προβλήματα των οποίων η πηγή της ανακρίβειας προέρχεται από την έλλειψη ευκρινώς καθορισμένων κανόνων για τη σχέση των μελών ενός συνόλου, προκειμένου να περιγραφούν οι αντίστοιχες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται (Zimmermann, 1988).

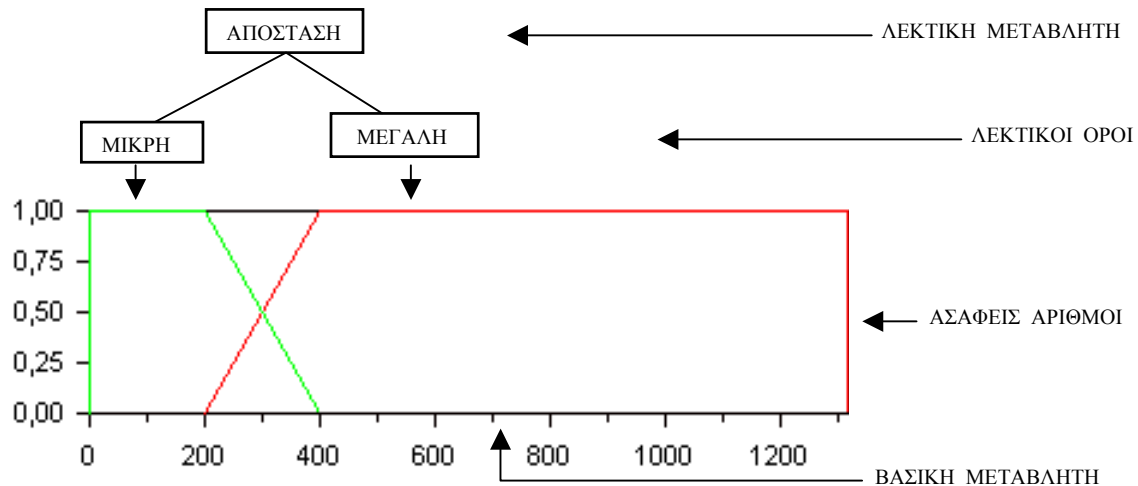
Ένα σημαντικό γεγονός στη δυαδική λογική είναι ότι κάθε σημείο ενός συνόλου  $U$  είναι ξεκάθαρα ομαδοποιημένο με άλλα μέλη της ομάδας του κι έτσι δεν φέρει καμία ομοιότητα με τα μέλη άλλων ομάδων. Ένας τρόπος για να χαρακτηριστεί η ομοιότητα ενός μοναδικού σημείου (individual point's similarity) σε όλες τις ομάδες παρουσιάστηκε από τον Zadeh το 1965. Το κλειδί στην ιδέα του Zadeh ήταν να απεικονίζει την ομοιότητα ενός σημείου που συμμετέχει σε κάθε ομάδα με μία συνάρτηση που ορίζεται ως συνάρτηση συμμετοχής και της οποίας οι τιμές (ονομάζονται μέλη) είναι μεταξύ μηδέν κι ένα ( $0 < \mu < 1$ ). Κάθε σημείο θα έχει ένα μέλος σε κάθε ομάδα. Μέλη κοντά στη μονάδα υποδηλώνουν έναν υψηλό βαθμό ομοιότητας μεταξύ ενός σημείου και μιας ομάδας, ενώ μέλη κοντά στο μηδέν υποδηλώνουν μικρή ομοιότητα ανάμεσα στο σημείο και στο σύνολο. Το άθροισμα δε των μελών για κάθε σημείο πρέπει να είναι η μονάδα.

Τα βασικά στοιχεία ενός ασαφούς συστήματος, τα οποία περιγράφονται περιληπτικά στις παρακάτω παραγράφους, είναι:

- η ασαφοποίηση
- η ανάπτυξη των κανόνων
- η επεξεργασία των κανόνων
- η απασαφοποίηση

Κάθε συνεχής μαθηματική εξίσωση μπορεί να προσεγγιστεί από ένα ασαφές σύνολο. Ο τυπικός τρόπος με τον οποίο παριστάνουμε στα ασαφή συστήματα τα διάφορα μεγέθη είναι οι λεκτικές μεταβλητές, οι εκφράσεις των οποίων είναι ασαφείς αριθμοί. Οι ασαφείς αριθμοί είναι ασαφή σύνολα ορισμένα σε ένα διάστημα, τα οποία αναπαριστούν γλωσσικούς όρους όπως μικρό, μέσο, μεγάλο κ.λ.π., το περιεχόμενο των οποίων εξαρτάται από την συγκεκριμένη περίπτωση.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής των ασαφών αριθμών παίρνουν σίγουρα την τιμή 1 σε ένα σημείο ή το πολύ σε ένα διάστημα. Αριστερά του διαστήματος αυτού είναι αύξουσες και δεξιά φθίνουσες. Με τη βοήθεια των λεκτικών μεταβλητών διαμερίζουμε τα διαστήματα των τομών με ασαφή τρόπο και προσεγγίζουμε τη συνάρτηση του συστήματος (Σχήμα 1)



**Σχήμα 1:** Παράδειγμα λεκτικής μεταβλητής.

Ο προσδιορισμός της ή η εκτίμηση της γίνεται με πολλές μεθόδους και κατά τρόπο υποκειμενικό. Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη συνάρτηση συμμετοχής είναι τριγωνικής μορφής και παρουσιάζει το μέγιστο στην πιο αντιπροσωπευτική τιμή της συνάρτησης. Εκτός της τριγωνικής υπάρχουν και άλλες τυπικές συναρτήσεις, όπως η τραπεζοειδής, η σιγμοειδής κτλ.. Η διαδικασία προσδιορισμού της εξίσωσης συμμετοχής για κάθε μεταβλητή ενός προβλήματος ονομάζεται διαδικασία ασαφοποίησης.

Το δεύτερο βήμα στη μεθοδολογία προσέγγισης των Ασαφών Συστημάτων είναι ο ορισμός των κανόνων που συνδέουν την είσοδο και την έξοδο. Αυτοί οι κανόνες βασίζονται στη μορφή του "Εάν ... τότε". Η γνώση σε ένα πρόβλημα επίλυσης μπορεί να αντιπροσωπεύεται από έναν σύνολο κανόνων. Η εφαρμογή των κανόνων ορισμού συνήθως ολοκληρώνεται από ειδικούς με γενικές γνώσεις στο συγκεκριμένο πεδίο. Δεν χρειάζεται να γίνει καθορισμός βάρους των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων. Τα βάρη λαμβάνονται έμμεσα μέσω των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων. Για παράδειγμα, εάν το εξαγόμενο σύνολο "καταλληλότητα" αποτελείται από δύο υποσύνολα τα οποία ονομάζονται: "μικρή" και "μεγάλη" καταλληλότητα, οι κανόνες θα μπορούσαν να είναι της μορφής:

*Εάν η απόσταση είναι μικρή τότε η καταλληλότητα είναι μικρή*

*Εάν η απόσταση είναι μεγάλη τότε η καταλληλότητα είναι μεγάλη*

Το επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία των κανόνων. Αυτό το βήμα ονομάζεται επίσης και εξαγωγή συμπεράσματος (inference). Περιλαμβάνει τρία στάδια τα οποία είναι του αθροίσματος (aggregation), της επίπτωσης (implication) και της συσσώρευσης (accumulation). Το στάδιο του αθροίσματος (aggregation) παρέχει το βαθμό εκπλήρωσης για το σύνολο των κανόνων.

Στο στάδιο της επίπτωσης (*Implication*) υπολογίζεται ο βαθμός εκπλήρωσης για το συμπέρασμα. Ενώ το στάδιο της συσσώρευσης (*accumulation*) συνδυάζει τα μεμονωμένα αποτελέσματα των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά.

Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των κανόνων μπορεί να μετατραπεί σε μια γλωσσική έκφραση ή σε μια στατιστική τιμή. Αυτή η δεύτερη επεξεργασία ονομάζεται απασαφοποίηση και υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για να επιτευχθεί (Leekwigck W. and Kerre E., 1999).

## 2.2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – Δυαδική Λογική

Τα εργαλεία ανάλυσης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, βασίζονται αποκλειστικά στην δυαδική λογική. Η προσέγγιση αυτή αντανακλά την εικόνα ενός κόσμου που αποτελείται από διακριτές τάξεις (Dawkins, 1993). Σε περιπτώσεις όμως όπως η πρόβλεψη αρχαιολογικών θέσεων η αλληλεπίθεση των επιπέδων που βασίζεται στη λογική Bool αποδεικνύεται ανεπαρκής

Η ανάλυση με δυαδική λογική, πραγματοποιείται μέσα από το λογισμικό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Για να είναι τα αποτελέσματα συγκρίσιμα χρησιμοποιούνται τα ίδια επίπεδα πληροφορίας – με διαφορετική όμως επεξεργασία και με αλληλεπίθεση οδηγούμαστε στο τελικό αποτέλεσμα. Τα εργαλεία ανάλυσης που χρησιμοποιούνται είναι τα buffer και union ενώ η περιοχή επιλογής προκύπτει με τις κατάλληλες ερωτήσεις στην τελική βάση δεδομένων έτσι ώστε να πληρούνται όλα τα κριτήρια.

## 3. ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ

Η περιοχή που επιλέχθηκε για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι το νησί της Μήλου που βρίσκεται στις Δυτικές Κυκλάδες.

Οι Κυκλάδες ανέπτυξαν έναν σημαντικό πολιτισμό κατά την προϊστορική περίοδο και μέχρι σήμερα η αρχαιολογική σκαπάνη φέρνει στο φως νέα ευρήματα. Η Μήλος ανήκει σε εκείνα τα νησιά στα οποία έχει πραγματοποιηθεί εκτενής αρχαιολογική έρευνα από την Αγγλική Αρχαιολογική Σχολή Αθηνών (1896-1899 και 1974-1977), (Cherry, 1982). Η προϊστορική πόλη της Φυλακωπής παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον όχι μόνο γιατί από τα τέλη της πρώιμης εποχής του χαλκού είναι ο βασικός οικισμός της Μήλου αλλά και γιατί είναι η μοναδική αρχαιολογική θέση που παρέχει καλά τεκμηριωμένη στρωματογραφική συνέχεια (Renfrew, 1982). Επίσης, η Μήλος κατά την προϊστορική περίοδο ήταν σημαντική λόγω των ορυχείων οψιανού, ενός μελανού υαλώδους ηφαιστιογενούς πετρώματος με ευρεία χρήση στην κατασκευή εργαλείων .

Οι θέσεις του νησιού χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες:

- Στους οικισμούς
- Στις εξειδικευμένες θέσεις κατοίκησης, που περιλαμβάνουν τις αγροτικές μονάδες, τις μονάδες εξόρυξης και τα παρατηρητήρια.

Ως εξεταζόμενη περίοδος ορίστηκε η εποχή του χαλκού, δηλαδή από την Πρωτοκυκλαδική μέχρι την Υστεροκυκλαδική περίοδο (περίπου 3.000 π.Χ.-1.100 π.Χ.). (Barber, 1994)

Για την εφαρμογή της μεθόδου, απαιτείται η γνώση της αρχαιολογίας της συγκεκριμένης περιόδου, καθώς και των γεωγραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης. Η επιλογή των κατάλληλων επιπέδων πληροφορίας είναι ουσιαστική –αν και πολλές φορές περιοριστική λόγω ανεπάρκειας δεδομένων- στην διατύπωση των κριτηρίων και των κανόνων.

Τα επίπεδα πληροφορίας που επιλέχθηκαν είναι τα εξής:

Κριτήριο	Πηγή Δεδομένων
1. Ποτάμια Περιοδικής Ροής	Χάρτες 1:50.000 Γ.Υ.Σ.
2. Πηγές	Χάρτες 1:50.000 Γ.Υ.Σ.
3. Κλίσεις	Υψομετρικές καμπύλες, 1:50.000 Γ.Υ.Σ.
4. Γεωργική γη	Χάρτες Corine, ΟΚΧΕ
5. Πηγές Οψιανού	Επιτόπια έρευνα, συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87
6. Λόφοι	Χάρτες 1:50.000 Γ.Υ.Σ.
7. Όρμοι	Χάρτες 1:50.000 Γ.Υ.Σ.
8. Ακρωτήρια	Χάρτες 1:50.000 Γ.Υ.Σ.
9. Φυλακωπή	Επιτόπια έρευνα, συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87

**Πίνακας 1:** Κριτήρια και Πηγές Δεδομένων

Όλα τα διανυσματικά επίπεδα μετατράπηκαν σε μορφή raster με μέγεθος pixel 12,5m X 12,5m (1/4mm μίας κλίμακας 1:50.000). Για τα κριτήρια 1,2,4,5,7, και 8 υπολογίστηκαν οι ευκλείδειες αποστάσεις. Ο συνδυασμός των τελικών grid επιπέδων εισάχθηκε στο λογισμικό της Λογικής της Ασάφειας, Data Engine 2.0 του M.I.T University.

Το πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας της Λογικής της Ασάφειας είναι η ασαφοποίηση, δηλαδή η απόδοση μίας συνάρτησης συμμετοχής σε κάθε κριτήριο. Οι συναρτήσεις αυτές, οι οποίες αντανακλούν την γνώση των ειδικών, απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Κριτήριο	Λεκτική μεταβλητή	Συνάρτηση Συμμετοχής
Ποτάμια περιοδικής ροής	Απόσταση: Μικρή(x), Μεγάλη(x)	$Μεγάλη(x) = \begin{cases} 0, & \text{αν απόσταση}(x) < 800 \\ (απόσταση(x) - 800)/700, & \text{αν } 800 \leq απόσταση(x) \leq 1500 \\ 1, & \text{αν απόσταση}(x) > 1500 \end{cases}$
Πηγές	Απόσταση: Μικρή(x), Μεγάλη(x)	$Μεγάλη(x) = \begin{cases} 0, & \text{αν απόσταση}(x) < 1500 \\ (απόσταση(x) - 1500)/2500, & \text{αν } 1500 \leq απόσταση(x) \leq 4000 \\ 1, & \text{αν απόσταση}(x) > 4000 \end{cases}$
Γεωργική Γη	Απόσταση: Μικρή(x), Μεγάλη(x)	$Μεγάλη(x) = \begin{cases} 0, & \text{αν απόσταση}(x) < 500 \\ (απόσταση(x) - 500)/1500, & \text{αν } 500 \leq απόσταση(x) \leq 2000 \\ 1, & \text{αν απόσταση}(x) > 2000 \end{cases}$
Πηγές Οψιανού	Απόσταση: Μικρή(x), Μεγάλη(x)	$Μεγάλη(x) = \begin{cases} 0, & \text{αν απόσταση}(x) < 1500 \\ (απόσταση(x) - 1500)/2500, & \text{αν } 1500 \leq απόσταση(x) \leq 4000 \\ 1, & \text{αν απόσταση}(x) > 4000 \end{cases}$
Όρμοι	Απόσταση: Μικρή(x), Μεγάλη(x)	$Μεγάλη(x) = \begin{cases} 0, & \text{αν απόσταση}(x) < 500 \\ (απόσταση(x) - 500)/2500, & \text{αν } 500 \leq απόσταση(x) \leq 3000 \\ 1, & \text{αν απόσταση}(x) > 3000 \end{cases}$

Κριτήριο	Λεκτική μεταβλητή	Συνάρτηση Συμμετοχής
Ακρωτήρια	Απόσταση: Μικρή(x), Μεγάλη(x)	$Μεγάλη(x) = \begin{cases} 0, & \text{αν απόσταση}(x) < 100 \\ (απόσταση(x) - 100)/400, & \text{αν } 100 \leq απόσταση(x) \leq 500 \\ 1, & \text{αν απόσταση}(x) > 500 \end{cases}$
Κλίσεις	Ομαλή(x), Απότομη(x)	$Απότομη(x) = \begin{cases} 0, & \text{αν απότομη}(x) < 20\% \\ (απότομη(x) - 20\%)/30\%, & \text{αν } 20\% \leq απότομη(x) \leq 50\% \\ 1, & \text{αν απότομη}(x) > 50\% \end{cases}$
Λόφοι	Λόφοι	$Λόφοι(x) = \begin{cases} 0, & \text{αν όχι λόφος} \\ 1, & \text{αν λόφος} \end{cases}$
Φυλακωπή	Ορατότητα	$Ορατότητα(x) = \begin{cases} 0, & \text{αν όχι ορατό} \\ 1, & \text{αν ορατό} \end{cases}$

**Πίνακας 2:** Κριτήρια, λεκτικές μεταβλητές και συναρτήσεις συμμετοχής κάθε κριτηρίου

Η συνάρτηση συμμετοχής για το κριτήριο «γεωργική γη» απεικονίζεται γραφικά στο παρακάτω διάγραμμα:



**Σχήμα 2:** Γραφική απεικόνιση της συνάρτησης συμμετοχής για το κριτήριο «Γεωργική Γη»

Στο τέλος της διαδικασίας σε όλο το νησί της Μήλου θα έχει αποδοθεί μία τιμή μεταξύ 0 και 1, για την ύπαρξη οικισμών και για την ύπαρξη εξειδικευμένων θέσεων κατοίκησης.

Για να επιτευχτεί το παραπάνω, είναι απαραίτητο να καθοριστούν οι κανόνες που συνδέουν τις μεταβλητές εισόδου με τις κατηγορίες εξόδου μέσω των συναρτήσεων συμμετοχής.

Οι κανόνες, είναι της μορφής «εάν...τότε» και αντανakλούν την γνώση των «ειδικών» πάνω στο συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο κατά την εξεταζόμενη περίοδο της προϊστορίας. Ο κάθε κανόνας χαρακτηρίζεται από έναν βαθμό βεβαιότητας ή ένα ποσοστό βεβαιότητας.

Το ποσοστό βεβαιότητας αναφέρεται στο πόσο σημαντικός είναι ο κάθε κανόνας για την εκπλήρωσή του, καθώς επίσης αναφέρεται και στη σχετική σημαντικότητα των επιμέρους λογικών προτάσεων από τις οποίες αποτελείται. Το ποσοστό βεβαιότητας του κάθε κανόνα, καθορίζεται επίσης από ειδικούς τόσο στην αρχαιολογία της περιοχής όσο και στα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της.

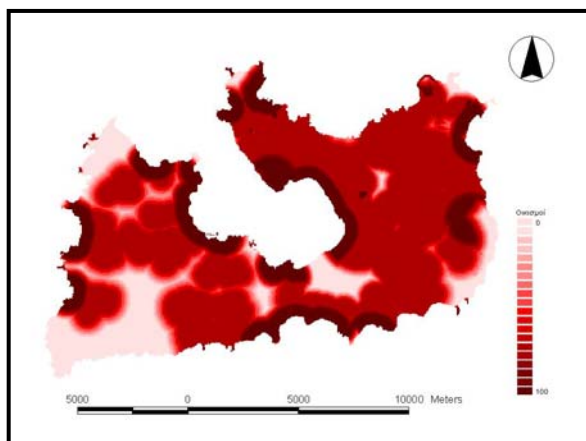
Οι κανόνες που διαμορφώθηκαν είναι οι εξής:

1. Αν η απόσταση από ποτάμι είναι μικρή και η απόσταση από γεωργική γη είναι μικρή και η κλίση είναι ομαλή τότε είναι οικισμός με βεβαιότητα 60%.
2. Αν η απόσταση από ποτάμια είναι μικρή και η απόσταση από όρμους είναι μικρή και η κλίση είναι ομαλή τότε είναι οικισμός με βεβαιότητα 80%
3. Αν είναι λόφος και η απόσταση από όρμο είναι μικρή τότε είναι οικισμός με βεβαιότητα 70%
4. Αν η απόσταση από πηγή είναι μικρή και η απόσταση από γεωργική γη είναι μικρή και η κλίση είναι ομαλή τότε είναι οικισμός με βεβαιότητα 60%
5. Αν η απόσταση από ποτάμι είναι μικρή και η απόσταση από γεωργική γη είναι μικρή και είναι λόφος και υπάρχει ορατότητα με την Φυλακωπή τότε είναι οικισμός με βεβαιότητα 90%.
6. Αν είναι λόφος και η απόσταση από όρμο είναι μικρή και υπάρχει ορατότητα με την Φυλακωπή τότε είναι οικισμός με βεβαιότητα 80%.
7. Αν η απόσταση από πηγή οψιανού είναι μικρή και η απόσταση από ποτάμι είναι μικρή και η απόσταση από γεωργική γη είναι μικρή τότε είναι οικισμός με βεβαιότητα 80%
8. Αν η απόσταση από ακρωτήριο είναι μικρή και η απόσταση από ποτάμι είναι μικρή και η κλίση είναι απότομη τότε είναι οικισμός με βεβαιότητα 75%
9. Αν είναι λόφος και η απόσταση από γεωργική γη είναι μικρή και η απόσταση από ποτάμι είναι μικρή τότε είναι οικισμός με βεβαιότητα 85%
10. Αν είναι λόφος και η απόσταση από γεωργική γη είναι μικρή και η απόσταση από πηγή είναι μικρή τότε είναι οικισμός με βεβαιότητα 85%
11. Αν η απόσταση από πηγή είναι μικρή και η απόσταση από γεωργική γη είναι μικρή και η απόσταση από όρμο είναι μικρή τότε είναι οικισμός με βεβαιότητα 80%
12. Αν η απόσταση από γεωργική γη είναι μικρή και η απόσταση από ποτάμι είναι μικρή τότε είναι εξειδικευμένη θέση κατοίκησης με βεβαιότητα 80%
13. Αν η απόσταση από πηγή οψιανού είναι μικρή τότε είναι εξειδικευμένη θέση κατοίκησης με βεβαιότητα 90%
14. Αν η απόσταση από ακρωτήριο είναι μικρή και υπάρχει ορατότητα με την Φυλακωπή τότε είναι εξειδικευμένη θέση κατοίκησης με βεβαιότητα 85%
15. Αν η απόσταση από γεωργική γη είναι μικρή και η κλίση είναι ομαλή και η απόσταση από πηγή είναι μικρή τότε είναι εξειδικευμένη θέση κατοίκησης με βεβαιότητα 80%

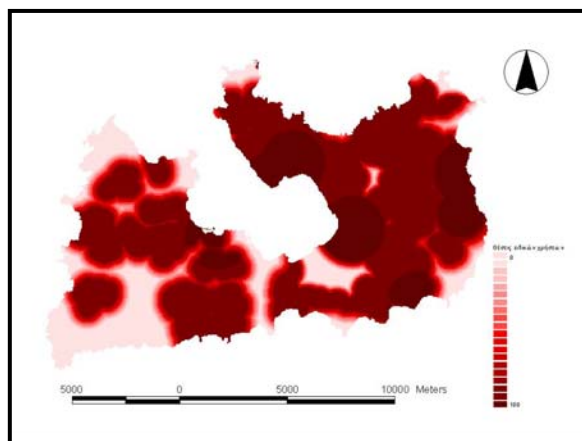
Η επεξεργασία των κανόνων, που είναι το τρίτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε με τους ακόλουθους τελεστές: «Aggregation operator=minimum», «Implication operator=algebraic product», «Accumulation operator=maximum».

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης της μεθόδου της Λογικής της Ασάφειας παρουσιάζονται στον Χάρτη1 για τους οικισμούς και στον Χάρτη2 για τις εξειδικευμένες θέσεις κατοίκησης.

Τα εικονοστοιχεία με βαθμό συμμετοχής κοντά στη μονάδα υποδηλώνουν περιοχές πιθανών οικισμών (Χάρτης 1) ή εξειδικευμένων θέσεων κατοίκησης (Χάρτης 2) ενώ αυτά στα οποία ο βαθμός συμμετοχής είναι κοντά στο 0, υποδηλώνουν περιοχές χαμηλής δυναμικότητας για κατοίκηση.



**Χάρτης 1:** Οικισμοί



**Χάρτης 2 :** Εξειδικευμένες θέσεις κατοίκησης

Εφαρμόζοντας την Δυαδική Λογική αντί της Λογικής της Ασάφειας για την παραπάνω εφαρμογή, το αποτέλεσμα απεικονίζεται στον Χάρτη 3.

Για τα επίπεδα 1,2,4,5,7,8 του Πίνακα 1 γίνονται buffers με τις ίδιες αποστάσεις που ορίστηκαν και στις συναρτήσεις συμμετοχής. Η ζώνες που προκύπτουν φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

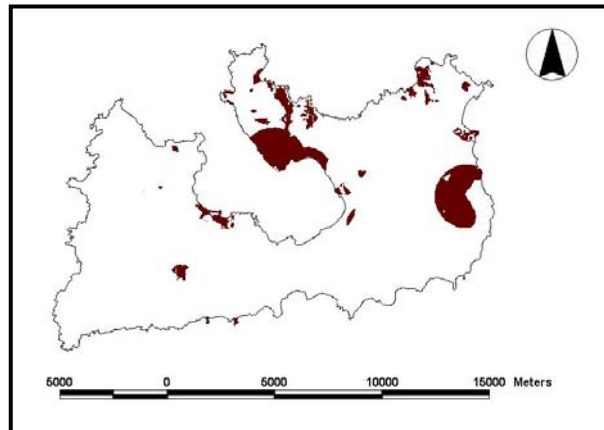
Κριτήριο	Απόσταση ζώνης
Ποτάμια περιοδικής ροής	800μ.
Πηγές	1500μ.
Γεωργική Γη	500μ.
Πηγές Οψιανού	1500μ.
Όρμοι	500μ.
Ακρωτήρια	100μ.

**Πίνακας 3:** Αποστάσεις ζωνών

Το τελικό επίπεδο το οποίο προκύπτει με ένωση των buffers και των επιπέδων 3,9,6, επεξεργάζεται με κανόνες της δυαδικής λογικής από το λογισμικό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Το αποτέλεσμα που προκύπτει απεικονίζει πιθανές θέσεις κατοίκησης χωρίς να γίνεται διαχωρισμός οικισμών και θέσεων ειδικών χρήσεων μιάς και η μεθοδολογία αυτή κρίνεται ανεπαρκής για κάτι τέτοιο.

Η περιοχές επιλογής βασίζονται στην παρακάτω λογική έκφραση που συνδυάζει όλα τα κριτήρια:

*«Εντός ζώνης ποταμιών και εντός ζώνης γεωργικής γης και κλίσεις <20% και εντός ζώνης πηγών και ενός ζώνης όρμων ή εντός ζώνης οψιανού ή ορατό από την Φυλακωπή ή να είναι λόφος ή εντός ζώνης ακρωτηρίων»*



**Χάρτης 3:** Προϊστορικές θέσεις με δυαδική λογική

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από επιτόπια έρευνα της κ. Χατζηνικολάου που πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι του 1997. Ο εντοπισμός των 10 θέσεων έγινε με GPS με βάση τα περιγραφικά δημοσιευμένα αποτελέσματα επιτόπιας έρευνας της Αγγλικής Αρχαιολογικής Σχολής (Cherry, 1982) και ήταν εξαιρετικά δύσκολος μιας και καμία θέση εκτός της Φυλακωπής δεν έχει σήμανση.

ΘΕΣΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	ΣΥΝ/ΝΕΣ Χ,Ψ ΕΓΣΑ'87
ΦΥΛΑΚΩΠΗ	ΟΙΚΙΣΜΟΣ	544855,4067475
ΝΥΧΙΑ	ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΗ ΘΕΣΗ ΚΑΤΟΙΚΗΣΗΣ	538487,4064796
ΚΗΠΟΣ	ΟΙΚΙΣΜΟΣ	537847,4057608
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	ΟΙΚΙΣΜΟΣ; <sup>1</sup>	542636,4061014
ΑΧΙΒΑΔΟΛΙΜΝΗ	ΟΙΚΙΣΜΟΣ; <sup>2</sup>	539645,4059958
ΠΗΛΟΣ-ΠΥΡΓΑΚΙ	ΟΙΚΙΣΜΟΣ	544120,4064797
ΔΕΜΕΝΕΓΑΚΙ	ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΗ ΘΕΣΗ ΚΑΤΟΙΚΗΣΗΣ	547489,4062470
ΦΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ	ΟΙΚΙΣΜΟΣ	538175,4068000
ΜΑΝΔΡΑΚΙΑ	ΟΙΚΙΣΜΟΣ	539298,4066400
ΣΠΑΘΙ	ΟΙΚΙΣΜΟΣ	546415,4058784

**Πίνακας 4 :** Εντοπισμένες θέσεις από επιτόπια έρευνα

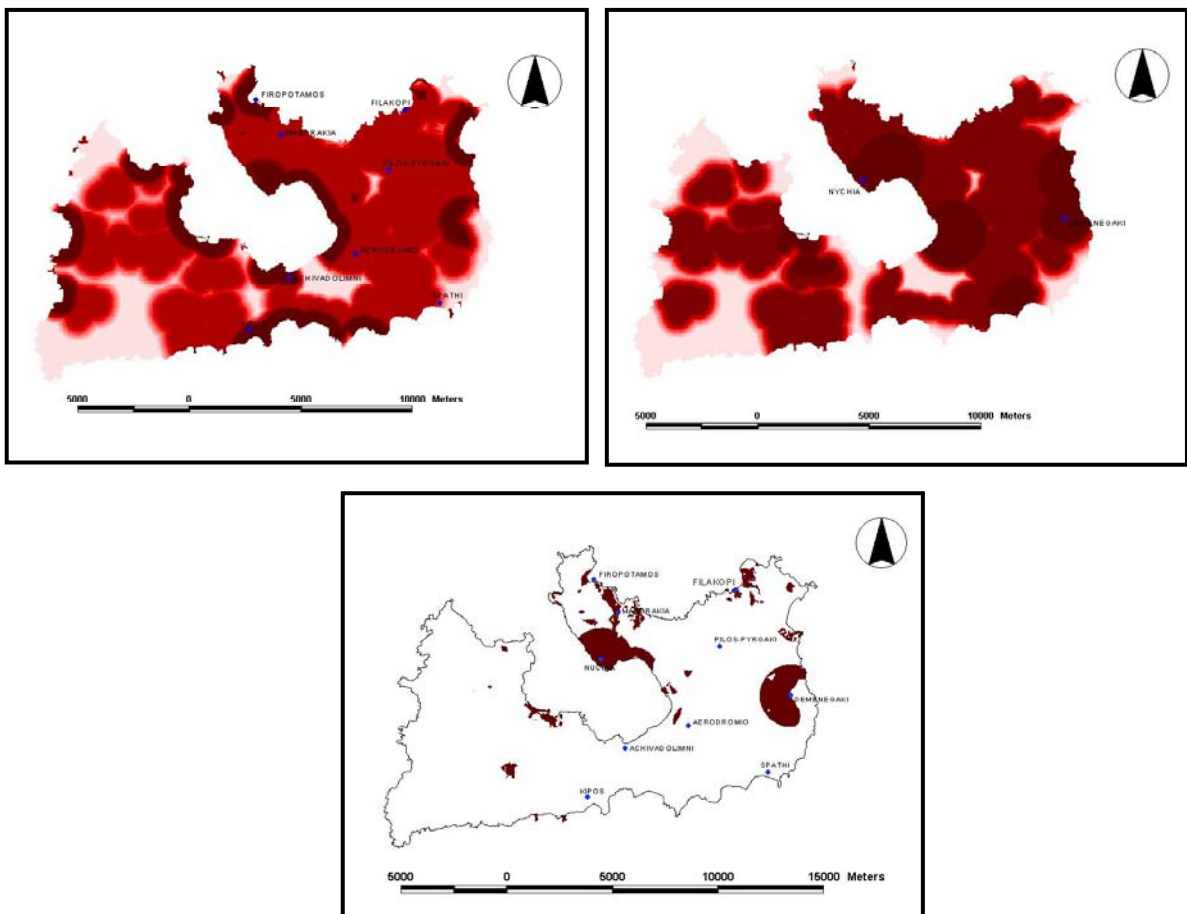
Από τις εντοπισμένες θέσεις, οι θέσεις Φυλακωπή, Κήπος, Αεροδρόμιο, Αχιβαδολίμνη, Πηλός-Πυργάκι, Φυροπόταμος, Μανδράκια και Σπαθί πιθανολογείται να ήταν οικισμοί ή ευρύτερες περιοχές οικισμών ενώ οι θέσεις Νύχια και Δεμενεγάκι ανήκουν στις εξειδικευμένες θέσεις κατοίκησης σαν ορυχεία οψιανού.

<sup>1</sup> Η θέση αυτή πιθανολογείται να ήταν νεκροταφείο (Cherry, 1982) και εντάσσεται στους οικισμούς σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση της μελέτης αυτής

<sup>2</sup> Για την θέση αυτή δεν υπάρχει κατηγοριοποίηση από την επιτόπια έρευνα (Cherry, 1982). Λόγω γεωγραφικής θέσης για τις ανάγκες της μελέτης αυτής εντάσσεται στους οικισμούς.

Με την Λογική της Ασάφειας όλες οι εντοπισμένες θέσεις εμπίπτουν σε περιοχές με μεγάλη συμμετοχή ως προς την κατοίκηση είτε πρόκειται για οικισμούς είτε για εξειδικευμένες θέσεις κατοίκησης. Αντίθετα, με την δυαδική λογική, οι 5 από τις 10 εντοπισμένες θέσεις περιέχονται στις επιλεγμένες περιοχές ενώ οι υπόλοιπες 5 είναι τελείως εκτός επιλογής.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι η Λογική της Ασάφειας αποδίδει βαθμιαία την προσέγγιση του παραδείγματος επιλογής προϊστορικών θέσεων κατοίκησης τόσο για τους οικισμούς όσο και για τις εξειδικευμένες θέσεις κατοίκησης ενώ η Δυαδική Λογική παρουσιάζει σαφή διαχωρισμό των περιοχών που ενδεχομένως να ακολουθούσαν τον κανόνα επιλογής, από τις υπόλοιπες. Με βάση το γεγονός ότι η πρόβλεψη αρχαιολογικών θέσεων στον βαθμό που μπορεί να επιτευχθεί με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και ποσοτικές μεθόδους δεν έχει σαν σκοπό την εύρεση νέων θέσεων με την έννοια της αρχαιολογικής ανακάλυψης αλλά τον εντοπισμό ευρύτερων περιοχών, βαθμονομημένων ως προς την δυναμική τους να αποτελούσαν θέσεις, είναι φανερό ότι η πιο κατάλληλη μέθοδος είναι η Λογική της Ασάφειας. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από τη μέθοδο αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί στα πλαίσια χωροταξικών και αναπτυξιακών προγραμμάτων σαν παράγοντας αποκλεισμού επιλογής των πιθανών θέσεων για οποιαδήποτε αναπτυξιακή δραστηριότητα.



Χάρτες 4,5,6 : Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων με την επιτόπια έρευνα

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και Λογικής της Ασάφειας αποτελεί ένα μεθοδολογικό πλαίσιο ικανό να εκτιμήσει περιοχές που πιθανώς να αποτελούσαν προϊστορικές θέσεις κατοίκησης. Η ασαφής φύση της πρόβλεψης προσεγγίζεται ικανοποιητικά μέσω της μεθοδολογίας αυτής η οποία ουσιαστικά αποδίδει σε κάθε εικονοστοιχείο της εξεταζόμενης περιοχής έναν βαθμό συμμετοχής σε κάθε μία από τις οριζόμενες τάξεις. Πρακτικά, είναι αδύνατο να διαχωρίσει κανείς με σαφήνεια αν μία περιοχή είναι οικισμός ή αγροτική μονάδα για παράδειγμα ή πού σταματάει το όριο του ορυχείου οψιανού και αρχίζει ο οικισμός πλησίον του ορυχείου. Με την μέθοδο αυτή προσεγγίζεται με περισσότερη ακρίβεια η πραγματικότητα και το αποτέλεσμα είναι διαβαθμισμένο γεγονός που βοηθάει σε κάθε μορφής χωροταξικό ή αναπτυξιακό σχεδιασμό.

Συνοπτικά, τα πλεονεκτήματα της μεθόδου θα μπορούσαν να απαριθμηθούν ως εξής:

- Το αποτέλεσμα είναι προϊόν επεξεργασίας κανόνων που στηρίζονται σε ανθρώπινη λογική και γνώση προσεγγίζοντας έτσι την λογική των προϊστορικών ομάδων όταν έπρεπε να επιλέξουν μία θέση ως κατάλληλη για κατοίκηση είτε λόγω φυσιογραφικών χαρακτηριστικών είτε λόγω πλουτοπαραγωγικών πηγών.
- Το αποτέλεσμα είναι διαβαθμισμένο, διατηρώντας την ενιαιότητα του χώρου.
- Η χρήση λεκτικών μεταβλητών υπογραμμίζει την ρεαλιστική φύση της μεθόδου
- Το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να είναι παραπάνω από μία τάξεις (εδώ οικισμοί και εξειδικευμένες θέσεις κατοίκησης) τρέχοντας την διαδικασία μόνο μία φορά. Αυτό είναι και το βασικό πλεονέκτημα έναντι των «μοντέλων πρόβλεψης» που καταλήγουν σε μία βαθμονόμηση της περιοχής ανάλογα με την πιθανότητα να είναι «θέσεις» και «όχι θέσεις».
- Για την εφαρμογή της μεθόδου δεν απαιτείται καμία δειγματοληψία γεγονόσ εξαιρετικά σημαντικό σε χρόνο και σε κόστος μιας και η γνώση «θέσεων» πολλές φορές υπάρχει αλλά η γνώση των «όχι θέσεων» προκύπτει μόνο από επιτόπια έρευνα εξουσιοδοτημένης ομάδας αρχαιολόγων.

Το μόνο ίσως μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι για την υλοποίησή της είναι απαραίτητη πολυδιάστατη γνώση υψηλού επιπέδου και διεπιστημονική συνεργασία μιας και δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν έτοιμες συναρτήσεις συμμετοχής.

Η χρήση δυαδικής λογικής μέσω των βασικών αναλυτικών πράξεων των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντιμετωπίσει οποιοδήποτε πρόβλημα σχεδιασμού σε βασικό μόνο επίπεδο μιας και κρίνεται ανεπαρκής για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Τα κυριότερα προβλήματα της μεθόδου είναι:

- Το αποτέλεσμα είναι περιορισμένο αποκλείοντας περιοχές χαμηλότερης οικιστικής δυναμικής.
- Για την διεξαγωγή οποιουδήποτε συμπεράσματος πρέπει να υποβάλεται μία υποερώτηση στο σύστημα με ένα αποτέλεσμα ανά φορά χωρίς να υπάρχει δυνατότητα συνδυασμού των αποτελεσμάτων.
- Το αποτέλεσμα δεν είναι διαβαθμισμένο με αποτέλεσμα να χάνεται οποιαδήποτε πληροφορία για τις περιοχές εκτός επιλογής.

Η ενσωμάτωση του λογισμικού της Λογικής της Ασάφειας στο λογισμικό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών αποτελεί πρόκληση στις μέρες μας. Ένα τέτοιο επίτευγμα θα έκανε την προτεινόμενη μεθοδολογία πιο προσιτή σε ευρύτερες ομάδες χρηστών όπως οι αρχαιολογικές υπηρεσίες. Επίσης, η διαθεσιμότητα ψηφιακών δεδομένων σε προσιτό κόστος θα έκανε το όλο εγχείρημα πιο υλοποιήσιμο ενώ η ποικιλία των ψηφιακών δεδομένων και συνεπώς ο εμπλουτισμός των κριτηρίων θα το έκανε ίσως ακόμα πιο πετυχημένο.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- ALLEN, K.M.S., GREEN S.W. and ZUBROW E.B.W, (eds.), 1990, *Interpreting space: GIS and Archaeology*, London, Taylor & Francis
- BARBER R.L.N., 1994, *The Cyclades in the Bronze Age*, Athens, Commercial Bank of Greece
- CHERRY J.F., 1982, “Appendix A: Register of Archaeological Sites on Melos”, in Renfrew C. and Wagstaff M., (eds.), *An Island Polity. The Archaeology of exploitation in Melos*, Cambridge University Press, 291-309
- DAWKINS R., 1993, “Meet my Cousin, the Chimpanzee”, *New Scientist*, 138, 36-38
- DUCKE B., 2003, “Archaeological Predictive Modelling in Intelligent Network Structures”, in Doerr M. and Sarris, (eds.), 2003, CAA 2002 The Digital Heritage of Archaeology, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Proceedings of the 30<sup>th</sup> Conference, Heraklion, Crete, April 2002, 267-273
- DRUHOT R., 1993, “Neural Networks and Spatial Modeling”, in *Proceedings of the Thirteenth Annual ESRI User Conference*
- HATZINIKOLAOU E., HATZICHRISTOS T., SIOLAS A., MANTZOURANI E., 2003, “Predicting Archaeological Site Locations Using GIS and Fuzzy Logic”, in Doerr M. and Sarris, (eds.), 2003, CAA 2002 The Digital Heritage of Archaeology, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Proceedings of the 30<sup>th</sup> Conference, Heraklion, Crete, April 2002, 169-177
- KOSKO B., 1994, *Fuzzy Thinking, the new science of Fuzzy Logic*, Flamingo Press
- KRIST F., 2001, “Multi-Criteria Predictive Modeling: A Tool for Archaeological Problem Solving”, *GIS and Archaeological Predictive Modeling Conference: Large-Scale Approaches to Establish a Baseline for Site Location Models*, Argonne National Laboratory, Chicago, March 2001, (υπό έκδοση)
- LEEKWIGCK W. and KERRE E., 1999, “Defuzzification: Criteria and Classification”, *Journal of Fuzzy Sets and Systems*, Volume 108, 159-178
- LOCK G. and STANCIC Z., (eds), 1995, *Archaeology and Geographical Information Systems : A European Perspective*, Taylor & Francis
- OPENSHAW S., 1997, *Artificial Intelligence in Geography*, Wiley, London
- RENFREW C. and WAGSTAFF M., (eds.), 1982, *An Island Polity. The Archaeology of exploitation in Melos*, Cambridge University Press
- WARREN R., 1990, “Predictive Modeling of Archaeological Site Location: A Case Study in the Midwest”, in Allen, K.M.S., Green S.W. and Zubrow E.B.W, (eds.), 1990, *Interpreting space: GIS and Archaeology*, London, Taylor & Francis, 90-111
- WESCOTT K.L. and BRANDON R.J., (eds.) , 2000, *Practical Applications of GIS for Archaeologists. A predictive modeling kit*, Taylor & Francis
- ZADEH L.A., 1965, “Fuzzy Sets”, *Information and Control*, 8, 338-353
- ZIMMERMANN H-J, 1988, “Fuzzy Set Theory – An Inferential Mechanism in Mathematical Models for Decision Support”, NATO ASI Series, 727-741

